

# ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ, ОДНОФАЗНОМ, $\alpha$ -ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ BT5-1 ПРИ ДВУХКОМПОНЕНТНОМ НАГРУЖЕНИИ

*Бердин Н.В.*

*Руководители – доц., к.т.н. Бердин В.К.;*

*доктор, д.т.н. Смыслов А.М.*

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет,  
г. Уфа, Berdin@bk.ru

На примере однофазного  $\alpha$ -титанового сплава BT5-1 проведено исследование влияния разворота вектора деформации на изменение напряженно-деформированного состояния и эволюцию тонкой структуры при горячей деформации в условиях монотонного одно и двухкомпонентного нагружения. В качестве исходного материала в работе использован горячекатаный прутки диаметром 40,0 мм

□  $\alpha$ -титанового сплава BT5-1 (Ti-5,0Al-2,5Sn). Грубая пластинчатая

микроструктура в образцах получена отжигом в однофазной области при  $T = 1100^\circ\text{C}$  в течение одного часа с последующим охлаждением с печью. После проведенной термической обработки микроструктура имела следующие параметры: размер  $\beta$ -превращенного зерна  $D_\beta = 900,0$  мкм; длина  $\alpha$ -пластин  $l_\alpha = 420,0$  мкм; толщина  $\alpha$ -пластин  $b_\alpha = 16,8$  мкм; коэффициент формы частиц  $\alpha$ -фазы  $K_\alpha = 23,8$ .

Механические испытания цилиндрических образцов с диаметром рабочей части 10,0 мм и длиной 30,0 мм выполняли на установке сложного нагружения [1] при постоянной скорости деформации, в изотермических условиях. Температура деформации в экспериментах соответствовала однофазной  $\alpha$  □ □ области для сплава BT5-1. Режимы нагружения были следующими:  $T = 900^\circ\text{C}$ , интенсивность скорости деформации  $\dot{\epsilon} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Деформирование образцов проведено по следующим схемам нагружения (рис. 1). Кручение – вектор 1, растяжение – вектор 5, и три варианта пропорционального (кручение + растяжение) нагружения с разным соотношением осевой к крутящей компоненте: 7:3 – вектор 2, 1:1 – вектор 3, 3:7 – вектор 4.

Результаты математического моделирования процесса двухкомпонентного нагружения (рис. 2) показали, что при изменении соотношения растягивающей к крутящей компоненте нагружения,

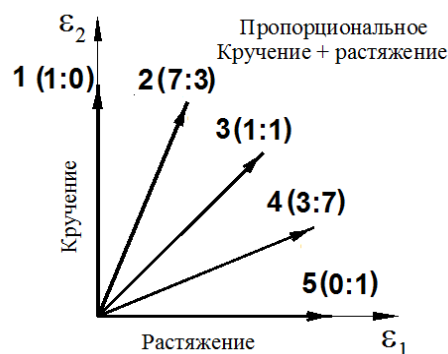
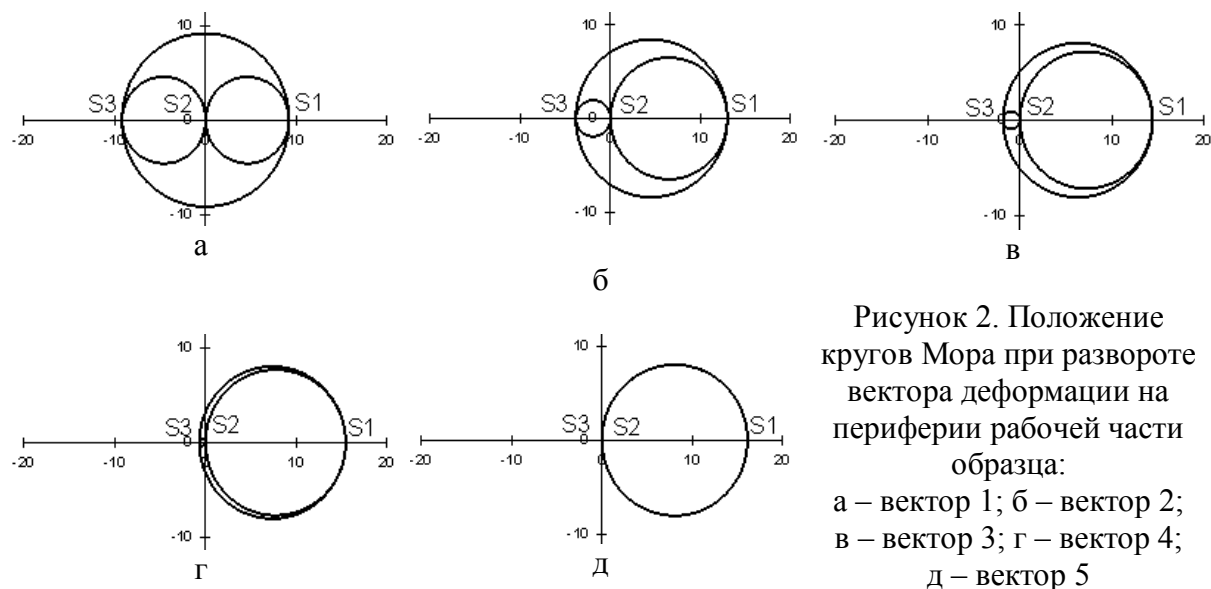


Рисунок 1. Схема нагружения

напряженное состояние в материале вблизи боковой поверхности монотонно изменяется от соответствующего простому кручению при отсутствии растяжения до одноосного растяжения при отсутствии кручения. При этом величина эквивалентной деформации равна  $\epsilon \sim 0,45 \dots 0,5$ . С увеличением доли растягивающей компоненты увеличивается равномерность распределения деформации в рабочем объеме заготовки.



Результаты анализа тонкой структуры, проведенные на просвечивающем электронном микроскопе JEOL-2100 и Теснаі G2 20F S-TWIN (рис. 3) показали, что кручение приводит к увеличению плотности дефектов внутри тела зерна, а при растяжении в трансформированной структуре плотность дефектов минимальна. При 2-х компонентном, пропорциональном нагружении наблюдается формирование смешанной структуры, при этом, с уменьшением крутящей составляющей, плотность дефектов в теле зерна уменьшается.

На основе полученных экспериментальных результатов математического моделирования и анализа тонкой структуры можно сделать вывод о том, что математическое моделирование процесса горячей пластической деформации цилиндрического образца методом 2-х компонентного пропорционального нагружения в программной среде ANSYS, позволяет определить зависимости параметров напряженного и деформированного состояний в характерных точках сечения рабочей зоны объекта. При этом вид напряженного состояния в центральной точке на боковой поверхности цилиндрических образцов изменяется в зависимости от соотношения растягивающей к крутящей компоненте нагружения. А также обнаружили, что вид нагружения при горячей пластической деформации оказывает влияние на формирование тонкой структуры в исследуемых образцах, – приводит к изменению плотности дефектов в теле зерна.

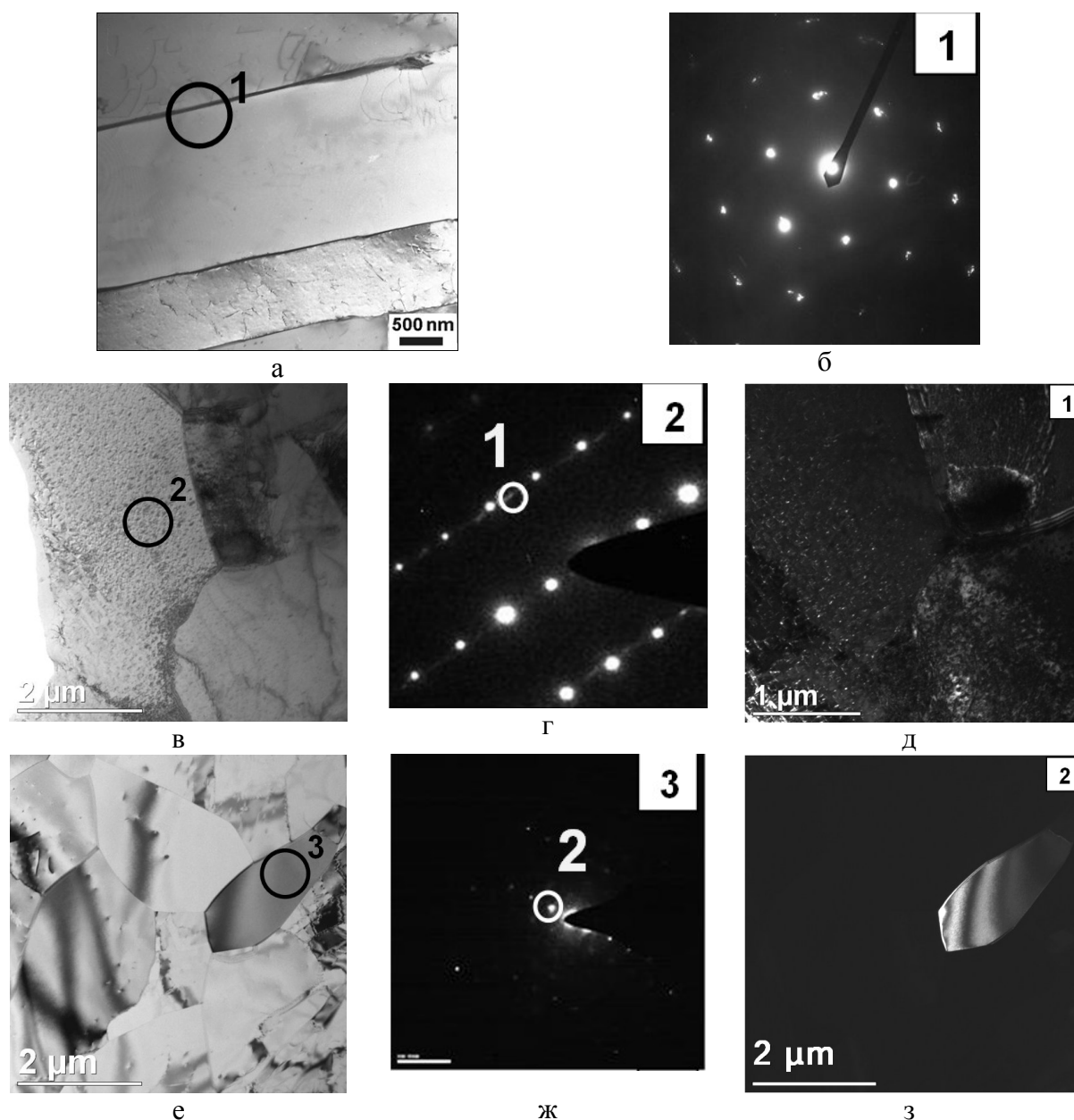


Рисунок 3. Анализ тонкой структуры: а – исходное состояние; б – электронограмма с области 1; в – после деформации по схеме вектор 2; г – электронограмма с области 2; д – темное поле с рефлекса 1; е – после деформации по схеме вектор 5; ж – электронограмма с области 3; з – темное поле с рефлекса 2

#### Используемые литературные источники:

1. Кайбышев О.А., Васин Р.А., Бердин В.К., Кашаев Р.М. Установка для изучения больших пластических деформаций материалов в условиях сложного нагружения. КИП N 4 1999, с.8...11.
2. Д. Синдо, Т. Оикава. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера, 2006, 256с. ISBN 5-94836-06404.
3. Kaibyshev O.A., Berdin V.K., Karavaeva M.V., Kashaev R.M., Syutina L.A. Relationship between mechanical properties, microstructure and parameters of thermomechanical processing under complex loading conditions in titanium alloy Ti-6.5Al-3.5Mo-1.6Zr-0.27Si. In: Titanium'99 Proc.of The 9<sup>th</sup> World Conf. St.Pet. Russia, 1999. CRISM "Prometey", 2000, pp.375...382.